

## **TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO LASER SCANNER - APLICABILIDADE AO CONTEXTO DOS EDIFÍCIOS**

**Luís Sanhudo<sup>(1)</sup>, João Poças Martins<sup>(1)</sup>, Nuno Ramos<sup>(2)</sup>, Ricardo Almeida<sup>(2)(3)</sup>, Eva Barreira<sup>(2)</sup>, Maria Lurdes Simões<sup>(2)</sup>, Vítor Cardoso<sup>(2)</sup>**

(1) CONSTRUCT-GEQUALTEC, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto

(2) CONSTRUCT-LFC, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto

(3) Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Instituto Politécnico de Viseu, Viseu

### **Resumo**

Apesar dos recentes avanços tecnológicos na eficiência energética da construção nova, para que os objetivos internacionais da indústria da Construção sejam atingidos, a reabilitação do stock existente deve ser considerada, apresentando-se, aliás, como uma das soluções mais eficazes. Assim, com a progressiva necessidade de uma aquisição expedita e eficiente de dados geométricos *in-situ*, as técnicas de *laser scanning* têm vindo a crescer em importância e prática dentro da indústria da Construção.

Este artigo pretende expandir o conhecimento sobre estas técnicas, executando para isso múltiplos ensaios práticos seguidos da sua análise. As conclusões retiradas destes ensaios são depois postas em prática através do levantamento *laser scanner* do Laboratório de Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. É ainda possível demonstrar possíveis ligações entre o *laser scanning* e o Building Information Modelling, apontando vários benefícios e futuros usos desta ligação.

### **1. Introdução**

No seguimento do projeto SUDOE STOP CO2, a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) foi incumbida de realizar e documentar o levantamento geométrico da estação de autocarros “24 de Agosto”, Porto, utilizando para isso técnicas de *laser scanner*. Assim, o presente artigo desenvolve esta premissa, demonstrando o trabalho realizado na preparação deste levantamento e identificando as principais conclusões retiradas ao longo da aquisição da nuvem de ponto da estação.

Assim, o presente artigo segue a seguinte estrutura. A Secção 2 corresponde à revisão bibliográfica do tópico “levantamento *in-situ* de informação geométrica”, focando-se principalmente na pesquisa bibliográfica referente a trabalhos científicos relacionados com *laser scanner*. Na Secção 3 é descrita a metodologia aplicada neste artigo. A Secção 4 apresenta

os testes de laboratório para a identificação das capacidades do *laser scanner* e respetivo *software*. Na Secção 5 é realizado o levantamento do Laboratório de Construções da FEUP e são analisadas possíveis aplicações da nuvem de pontos. Finalmente, na Secção 6 são apresentadas as conclusões do trabalho realizado.

## 2. Levantamento *In-Situ* de Informação Geométrica

Nos últimos anos, o aumento da eficiência energética de edifícios é um dos principais focos de investigação na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Com o recente apoio de estratégias internacionais [1, 2], é possível identificar um incremento substancial do número de projetos de reabilitação nesta indústria. De facto, apesar dos recentes avanços tecnológicos relacionados com a construção nova, atualmente, devido ao enorme volume de construção existente, a reabilitação é considerada uma das melhores soluções para o alcance dos atuais objetivos da indústria da AEC, especialmente no que diz respeito à eficiência energética e às emissões de CO<sub>2</sub> [3-5].

No entanto, apesar da urgência associada a este problema, existem ainda múltiplos obstáculos ao correto desenvolvimento deste processo. Estas dificuldades, frequentemente associadas à ausência de conhecimento sobre as condições atuais do edifício, advêm principalmente da inadequada ou inexistente atualização da informação referente ao estado do edifício, agravada pelo inevitável envolvimento de vários profissionais ao longo da vida deste [5, 6].

Assim, estes obstáculos traduzem-se na ausência de documentação adequada para o apoio à equipa de projeto, que se depara com a tarefa de encontrar informação sobre o edifício que possa estar desatualizada ou até mesmo incompleta, em múltiplos formatos e vinda de múltiplos profissionais com intervenções prévias no edifício.

Com o objetivo de superar estes obstáculos, recentes desenvolvimentos tecnológicos permitem a recolha detalhada e não destrutiva da geometria do edifício, bem como a geração de representações tridimensionais (3D) das condições atuais deste, possibilitando assim à equipa de projeto uma rápida análise do edifício [7]. Estas representações 3D tendem a ser de fácil interpretação, permitindo uma clara passagem de informação a outros membros da equipa de projeto e até mesmo a pessoas sem formação na área da AEC. O *laser scanning*, a fotogrametria, a videogrametria, a triangulação ótica, entre outros, são exemplos destes métodos de levantamento. Uma análise detalhada destes métodos [6, 8-12], indica que estas tecnologias exigem equipamento frágil e dispendioso, bem como operadores formados e, em alguns casos, longos períodos de levantamento.

Entre estes métodos, o *laser scanning* distingue-se dos restantes sendo identificado como um do foco de investigação nos domínios de conhecimento *Building Information Modelling* (BIM) [13-15]. De facto, a capacidade do *laser scanning* de realizar rápidas medições automáticas de distâncias e ângulos (mais de um milhão de pontos por segundo [17]), combinada com a elevada precisão (pode alcançar uma precisão de 0,6 milímetros a 10 metros [7, 17]) com que captura geometrias complexas e minuciosos detalhes, distingue esta tecnologia das restantes alternativas [7, 12, 17]. Adicionalmente, o desenvolvimento de programas informáticos especializados em nuvens de pontos, como o *Leica CYCLONE*, *Meshlab* e *Autodesk ReCap*, permitem o rápido processamento das nuvens, permitindo a eliminação de porções indesejadas, o alinhamento e unificação das nuvens e a sua conversão para formas geométricas [6].

Contudo, o *laser scanning* pode apresentar algumas limitações. Conforme mencionado anteriormente, Bhatla [8] indica restrições associadas ao custo de aquisição do equipamento e à necessidade de formar operadores qualificados. Além disso, conforme visto em [3, 7, 18, 19], múltiplas estações podem ser necessárias para a aquisição de uma geometria, caso existam obstruções ao campo de visão do *scanner*.

### 3. Metodologia

Para a correta realização deste trabalho foi inicialmente elaborada uma metodologia a seguir. Esta metodologia tinha como objetivo estruturar o trabalho a ser efetuado, auxiliando os autores na preparação e execução do levantamento. Assim, dividiu-se o trabalho em 4 partes distintas:

- Realização de múltiplos testes para familiarização dos autores com o *hardware* e *software laser scanner* a empregar nos casos de estudo, bem como para a identificação das suas capacidades;
- Tendo por base os ensaios teste realizados, preparação e realização do levantamento do Laboratório de Construções da FEUP;
- Identificação de possíveis aplicações BIM das nuvens de pontos;
- Conclusões relativas ao trabalho efetuado.

No que diz respeito ao *hardware* e *software* utilizado, a ligação entre o *laser scanner ScanStation P20* (Figura 1) e o *software* de nuvem de pontos *Cyclone 9.1*, ambos da Leica, permitiram uma rápida aquisição e análise das nuvens de pontos obtidas. Adicionalmente, os programas *Autodesk Revit* e *Unity 3D* permitiram a análise de possíveis aplicações destas nuvens.



Figura 1: *Laser scanner ScanStation P20*.

### 4. Ensaios em Laboratório

Com o objetivo de identificar as capacidades e limitações do *laser scanner*, bem como compreender a influência dos seus parâmetros no estado final da nuvem de pontos, foram realizados múltiplos ensaios em ambiente de laboratório. Estes ensaios consistiram na aquisição

de várias nuvens de pontos, sendo que o posicionamento do *scanner* e as condições da envolvente se mantiveram idênticas. No entanto, os parâmetros de seguida apresentados foram alterados entre ensaios:

- **Resolução** – Dita a distância (em milímetros) entre os pontos capturados, tanto na vertical como na horizontal, a uma distância de 10 metros medidos a partir da posição do *laser scanner*. Quanto maior a distância, menores serão a precisão e a densidade de pontos capturados;
- **Qualidade** – Relaciona-se com a precisão com que os pontos são adquiridos. Maior qualidade traduz-se num maior tempo de rotação do aparelho, resultando numa captação mais precisa;
- **White Balance** – Permite uma melhor captação dos tons brancos e a correção geral da cor da fotografia. Existem quatro definições: *Sunny*; *Cloudy*; *Cold Light*; e *Warm Light*. Os dois primeiros são usados caso predomine luz natural, enquanto os restantes são utilizados para luz artificial;
- **Resolução da Imagem** – Define o número de *pixels*, tanto na vertical como na horizontal, das fotografias. Uma maior resolução traduz-se numa maior qualidade de imagem, com menos desfocagem, mas incrementa também a duração do levantamento e o tamanho do arquivo;
- **High Dynamic Range (HDR)** – Usado para obter, em maior detalhe, zonas expostas a pouca/muita luminosidade. As fotografias são tiradas com diferentes velocidades do obturador, resultando em diferentes níveis de brilho devido à porção de luz que atravessou a lente. Assim, após junção das fotografias, estas zonas ficam mais perceptíveis.

No que diz respeito à localização dos ensaios, estes foram realizados dentro da câmara de chuva do Departamento de Engenharia Civil da FEUP. As suas condições isoladas juntamente com os detalhes oferecidos pelos recipientes das amostras e a grelha disposta no chão da câmara criaram condições favoráveis à realização dos 38 ensaios laboratoriais exibidos na Tabela 1. De realçar que os ensaios 9, 15, 34 e 38, marcados com um asterisco, foram realizados sob condições de luminosidade mínima na câmara.

Tabela 1: Ensaios em laboratório com o *scanner ScanStation P20*

Teste	Resolução do Scan	Qualidade do Scan	White Balance	Resolução de Imagem	HDR	Tamanho Ficheiro	Tempo Estimado
1	50.0mm@10m	1	Cold Light	960	No	150 MB	6min 26s
2		2		960		154 MB	6min 26s
3		3		1920		572 MB	7min 50s
4	25.0mm@10m	1	Cold Light	960	No	168 MB	6min 39s
5		2		960	No	171 MB	6min 39s
6		3		960	No	168 MB	7min 4s
7		4		1920	No	591 MB	9min 5s
8		4		1920	Yes	605 MB	12min 2s
9*		4		1920	Yes	321 MB	12min 2s

Teste	Resolução do <i>Scan</i>	Qualidade do <i>Scan</i>	White Balance	Resolução de Imagem	HDR	Tamanho Ficheiro	Tempo Estimado
10	12.5mm@10m	1	Cold Light	960	No	251 MB	7min 4s
11		2		960	No	228 MB	7min 55s
12		3		960	No	231 MB	9min 36s
13		4		960	No	231 MB	12min 58s
14		4		960	Yes	256 MB	15min 27s
15*		4		960	Yes	172 MB	15min 27s
16	6.3mm@10m	1	Cold Light	960	No	464 MB	8min 1s
17		2		960		465 MB	9min 36s
18		3		960		466 MB	12min 58s
19		4		960		467 MB	19min 43s
20	3.1mm@10m	1	Cold Light	640	No	1336 MB	9min 25s
21		1		960		1416 MB	9min 36s
22		1		1920		1837 MB	10min 46s
23		2		960		1419 MB	12min 58s
24		3		960		1418 MB	19min 42s
25		4		640		1338 MB	33min 0s
26		4		960		1419 MB	33min 11s
27		4		1920		1845 MB	34min 22s
28	1.6mm@10m	1	Cold Light	960	No	5236 MB	19min 45s
29		2		960		5240 MB	33min 16s
30		3		960		5237 MB	1h 0min 19s
31	0.8mm@10m	1	Cold Light	640	No	20397 MB	1h 0min 8s
32		1		960	No	20478 MB	1h 0min 18s
33		1		1920	No	20904 MB	1h 1min 29s
34*		1		1920	Yes	20908 MB	1h 4min 26s
35		2		640	No	20407 MB	1h 54min 12s
36		2		960	No	20488 MB	1h 54min 23s
37		2		1920	No	20914 MB	1h 55min 33s
38*		2		1920	Yes	20914 MB	1h 58min 30s

Como é possível constatar por análise da Tabela 1, os parâmetros escolhidos influenciam significativamente o tempo necessário para o levantamento e o tamanho do ficheiro obtido.

De facto, destes ensaios foi possível concluir que quanto maior for a resolução do *scan* e da imagem, maior será o tempo necessário para efetuar o levantamento, bem como o tamanho do ficheiro no qual a nuvem de pontos está contida. É ainda possível concluir que apesar da qualidade do *scan* aumentar substancialmente o tempo necessário, o mesmo não pode ser sempre dito no que diz respeito ao tamanho do ficheiro. Adicionalmente, pode ser ainda concluído que o HDR aumenta significativamente o tempo necessário, apesar do tamanho do ficheiro parecer estar dependente da luz do compartimento. Finalmente, é de realçar que apesar de tanto a resolução do *scan* como da imagem influenciarem o tempo estimado e o tamanho do ficheiro, o primeiro apresenta uma maior influência que o segundo. De facto, ao longo dos ensaios é possível averiguar que as mudanças na resolução da imagem incitam pequenas variações tanto no tamanho do ficheiro (aproximadamente 100-400 MB) como do tempo estimado (aproximadamente 1 minuto), quando comparadas com as variações devidas às mudanças na resolução do *scan* (podem atingir aproximadamente 15 GB e 40 minutos). Nos Gráficos 1 e 2 é possível visualizar o crescimento exponencial associado às alterações acima mencionadas, usando para isso as médias dos resultados obtidos na Tabela 1.

Estes gráficos demonstram claramente os possíveis aumentos em termos de tamanho de ficheiro e tempo de levantamento que um *scan* pode exibir face à utilização de maiores resoluções. Estes resultados enfatizam a importância deste estudo, uma vez que a escolha da resolução adequada para o levantamento pode beneficiar o utilizador tanto no tempo despendido com o levantamento como nos requisitos impostos ao *hardware* de trabalho.

Por último, com os resultados destes ensaios foi possível desenvolver a Tabela 2, onde múltiplos *scans* são comparados em termos de resolução e qualidade. Esta comparação teve como objetivo identificar a influência destes parâmetros na capacidade da nuvem de pontos reproduzir a forma geométrica de um edifício. Os parâmetros resolução da imagem, HDR e *white balance* foram excluídos desta comparação, visto não apresentarem qualquer influência neste tópico.

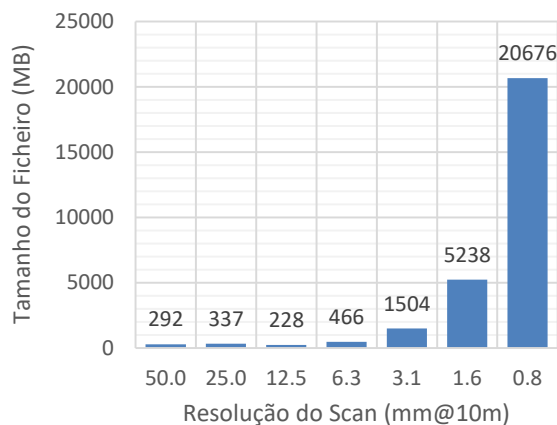


Gráfico 1: Valores médios do tamanho do ficheiro para as respetivas resoluções.

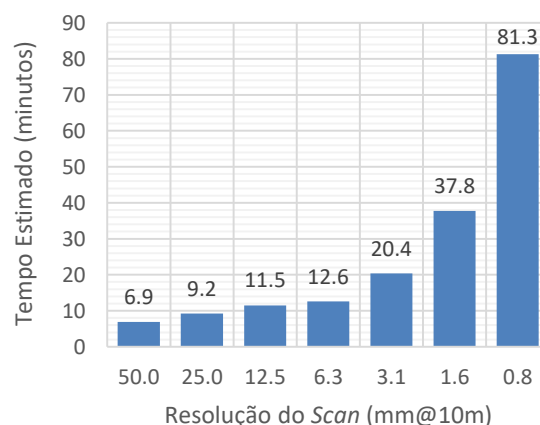


Gráfico 2: Valores médios do tempo estimado para as respetivas resoluções.

A Tabela 2 inclui 12 *scans* representativos da sua respetiva resolução e qualidade, obtidos a uma distância de 5 metros da parede da câmara de chuva. Ao analisar estes *scans*, é possível concluir que a modificação na qualidade não se traduz em diferenças visíveis no que diz respeito à capacidade da nuvem de pontos reproduzir a geometria de um edifício. Pelo contrário, a resolução do scan produz um impacto significativo no rigor geométrico da nuvem de pontos,

sendo que uma resolução de 25.0mm@10m oferece menor informação geométrica que uma resolução de 1.6mm@10m. Contudo, também é claro que à distância de 5 metros, resoluções superiores a 3.1mm@10m resultam num reduzido ganho de detalhe observável.

## 5. Levantamento do Laboratório de Construções e possíveis aplicações desta tecnologia

Com o objetivo de colocar em prática os conhecimentos obtidos através dos ensaios em laboratórios, foi realizado o levantamento do Laboratório de Construções da FEUP. O levantamento contou com um total de 9 estações nas quais foram utilizadas 3 resoluções de 3.1mm@10m, de 6.3mm@10m e de 12.5mm@10m. A escolha das resoluções teve em conta a envolvente das estações e as observações presentes na secção 4, sendo que as primeiras foram aplicadas nos espaços mais abertos do laboratório e, por oposição, as últimas em espaços mais restritos. Não foi necessária a utilização de HDR uma vez que a iluminação no interior da nave é relativamente uniforme. A qualidade selecionada para todos os *scans* foi de 2. No que diz respeito ao *white balance*, foi utilizada a opção *warm light* devido aos focos amarelos predominantes no laboratório. A nuvem de pontos é apresentada nas Figuras 2-5, sendo a primeira uma vista exterior e as restantes vistas interiores da nuvem.

Nas Figuras 2 e 3 são visíveis duas possíveis aplicações das nuvens de pontos, respetivamente no auxílio da criação de modelos e na sua exploração em ambiente de realidade virtual. Outras aplicações incluem inspeções da qualidade de edifícios, monitorização estrutural, atualização de plantas, deteção de choque entre elementos construtivos, topografia, entre outros.

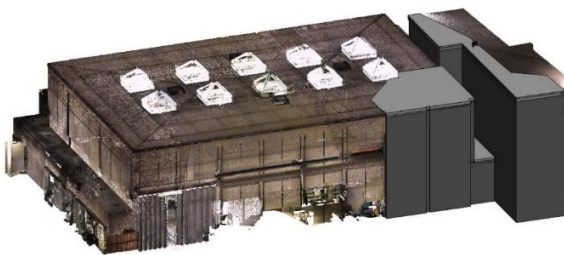


Figura 2: Modelação BIM a partir da nuvem de pontos.

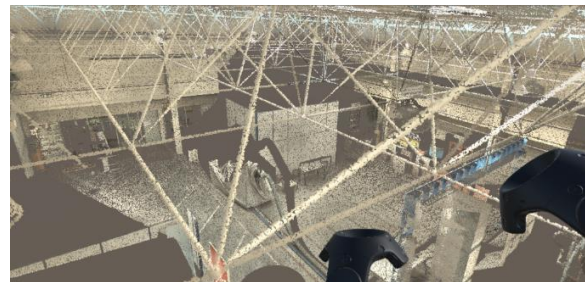


Figura 3: Visualização da estrutura metálica em ambiente de realidade virtual.



Figura 4: Visualização da nuvem de pontos com cores reais capturadas.

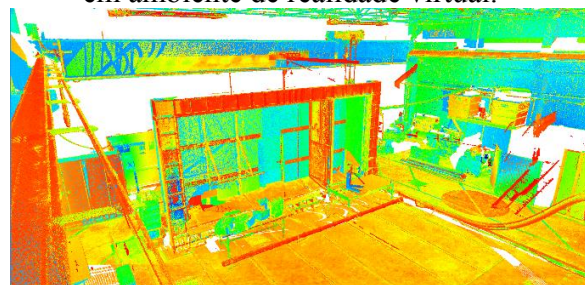
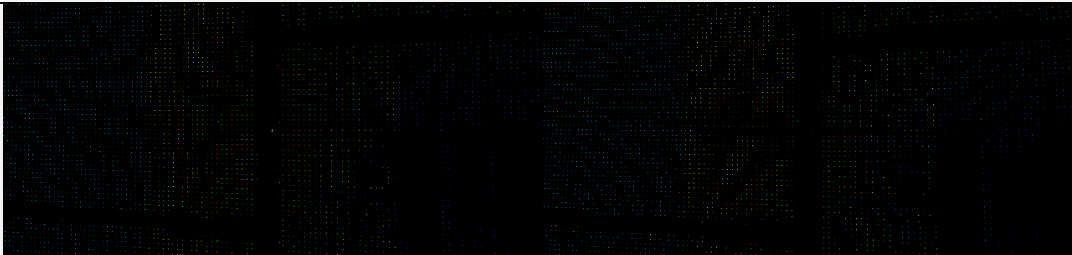
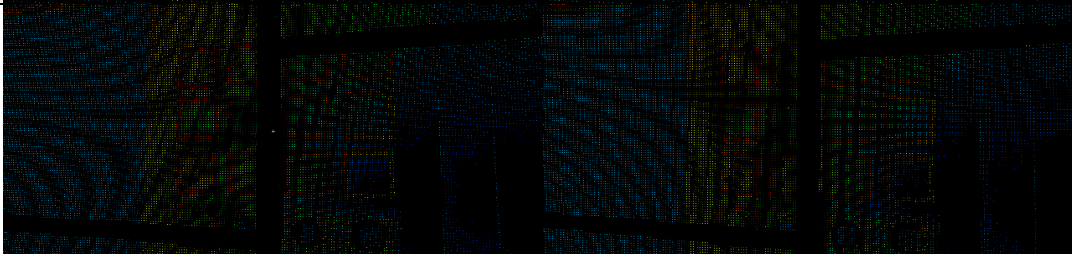
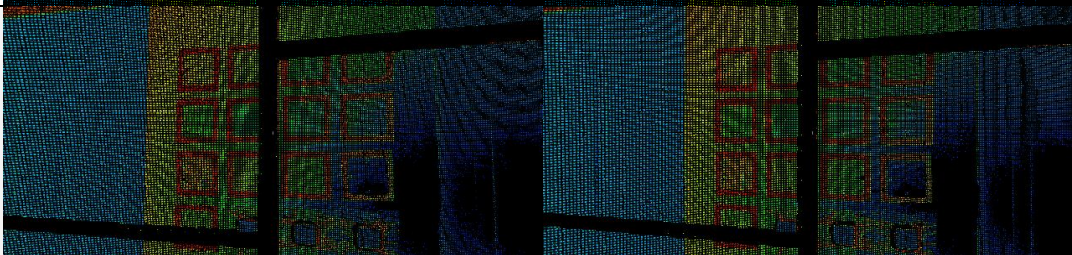
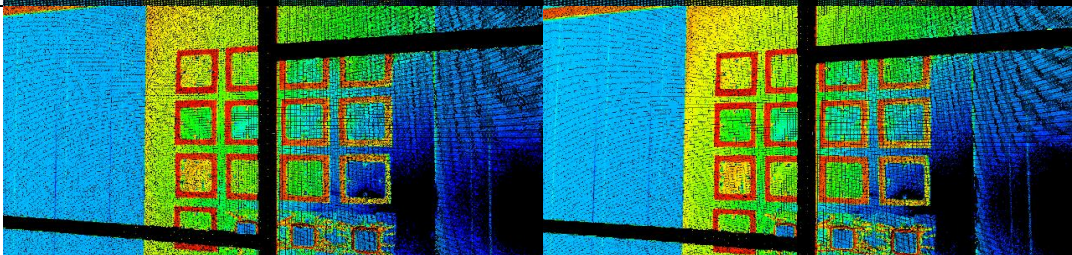
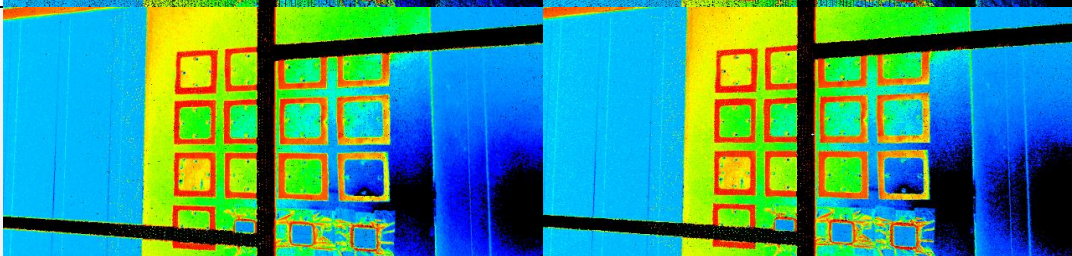
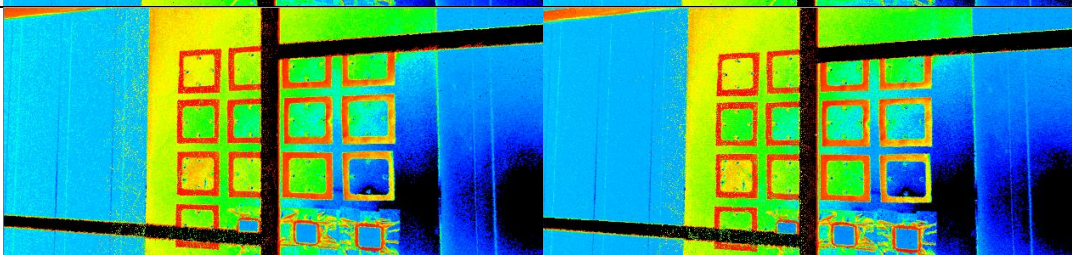


Figura 5: Visualização da nuvem de pontos com os níveis de intensidade da nuvem.



Tabela 2: Scans representativos, obtidos dos ensaios visíveis na tabela 1.

Resol. <i>scan</i>	Qualidade		
	Q1		Q3
50.0mm@10m			
25.0mm@10m			
12.5mm@10m			
6.3mm@10m			
3.1mm@10m			
1.6mm@10m			



## 6. Conclusões

Os ensaios realizados em laboratório permitiram uma maior compreensão sobre a utilização dos parâmetros do *scanner*, nomeadamente no que diz respeito ao impacto destes na qualidade da nuvem de pontos, nos tempos de levantamento e nos tamanhos dos ficheiros adquiridos. Desta forma, os resultados apresentados no presente artigo permitem um melhor planeamento de um levantamento *laser scanner*.

Como comprovado pelo levantamento do Laboratório de Construções da FEUP e pelas possíveis aplicações da nuvem de pontos apresentadas, esta é uma tecnologia com múltiplos usos que, na opinião dos autores, demonstra elevado potencial para desenvolvimento futuro.

## Reconhecimentos

Este artigo foi desenvolvido a partir dos resultados obtidos no âmbito do projeto SUDOE Stop CO2 e do projeto CONSTRUCT, bem como pelo financiamento da FCT pela Bolsa de Doutoramento SFRH/BD/129652/2017.

O SUDOE Stop CO2 (SOE1 / P3 / E0032) é um projeto co-financiado pelo Programa Interreg Sudoeste através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).

O projeto POCI-01-0145-FEDER-007457 - CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construção é financiado por fundos do FEDER através do COMPETE2020 - Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) - e por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia.

## Referências

- [1] E. Recast, "Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)," *Official Journal of the European Union*, vol. 18, p. 2010, 2010.
- [2] T. E. Commission. (2016, 05 June). *2020 climate & energy package | Climate Action*. Available: [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en)
- [3] S. Lagüela, L. Díaz-Vilariño, J. Martínez, and J. Armesto, "Automatic thermographic and RGB texture of as-built BIM for energy rehabilitation purposes," *Automation in Construction*, vol. 31, pp. 230-240, 2013.
- [4] G. Verbeeck and H. Hens, "Energy savings in retrofitted dwellings: economically viable?," *Energy and buildings*, vol. 37, pp. 747-754, 2005.
- [5] Z. Ma, P. Cooper, D. Daly, and L. Ledo, "Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art," *Energy and buildings*, vol. 55, pp. 889-902, 2012.
- [6] Ö. Göçer, Y. Hua, and K. Göçer, "A BIM-GIS integrated pre-retrofit model for building data mapping," in *Building Simulation*, 2016, pp. 513-527.
- [7] S. Lagüela, L. Díaz-Vilariño, J. Armesto, and P. Arias, "Non-destructive approach for the generation and thermal characterization of an as-built BIM," *Construction and Building Materials*, vol. 51, pp. 55-61, 2014.

- [8] A. Bhatla, S. Y. Choe, O. Fierro, and F. Leite, "Evaluation of accuracy of as-built 3D modeling from photos taken by handheld digital cameras," *Automation in construction*, vol. 28, pp. 116-127, 2012.
- [9] Z. Zhu and I. Brilakis, "Comparison of optical sensor-based spatial data collection techniques for civil infrastructure modeling," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 23, pp. 170-177, 2009.
- [10] P. Arias, C. Ordóñez, H. Lorenzo, and J. Herraiez, "Methods for documenting historical agro-industrial buildings: a comparative study and a simple photogrammetric method," *Journal of Cultural Heritage*, vol. 7, pp. 350-354, 2006.
- [11] P. Henry, M. Krainin, E. Herbst, X. Ren, and D. Fox, "RGB-D mapping: Using depth cameras for dense 3D modeling of indoor environments," in *the 12th International Symposium on Experimental Robotics (ISER)*, 2010, pp. 22-25.
- [12] C. Fröhlich and M. Mettenleiter, "Terrestrial laser scanning—new perspectives in 3D surveying," *International archives of photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, vol. 36, p. W2, 2004.
- [13] X. Li, P. Wu, G. Q. Shen, X. Wang, and Y. Teng, "Mapping the knowledge domains of Building Information Modeling (BIM): A bibliometric approach," *Automation in Construction*, vol. 84, pp. 195-206, 2017.
- [14] X. Zhao, "A scientometric review of global BIM research: Analysis and visualization," *Automation in Construction*, vol. 80, pp. 37-47, 2017/08/01/ 2017.
- [15] R. Santos, A. A. Costa, and A. Grilo, "Bibliometric analysis and review of Building Information Modelling literature published between 2005 and 2015," *Automation in Construction*, vol. 80, pp. 118-136, 2017/08/01/ 2017.
- [16] P. Tang, D. Huber, B. Akinci, R. Lipman, and A. Lytle, "Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques," *Automation in construction*, vol. 19, pp. 829-843, 2010.
- [17] L. Geosystems, "Leica ScanStation P30/P40 product specifications," *Heerbrugg, Switzerland*, 2016.
- [18] T. Gao, B. Akinci, S. Ergan, and J. Garrett, "Constructing as-is BIMs from progressive scan data," *Gerontechnology*, vol. 11, p. 75, 2012.
- [19] B. Giel and R. Issa, "Using laser scanning to access the accuracy of as-built BIM," in *Computing in Civil Engineering (2011)*, ed, 2011, pp. 665-672.